

Fosfortilgængelighed i biokul

Dorette Müller-Stöver, Institut for Plante- og Miljøvidenskab



KØBENHAVNS UNIVERSITET



Pyrolyse

- Termisk materialenedbrydning i en iltfri atmosfære

Næsten alt P, K, Mg
ca. halvdelen af C & S
lidt N



Biokul

15-40% af massen

"...black carbon which is created for the purpose of carbon sequestration or other environmental management. The parent material is solely from renewable sources" (Han et al. 2020)

Pyrolyse af forskellige biomasser

Temperatur: ~500-700 °C

Opholdstid: sekunder til timer



Bio-olie

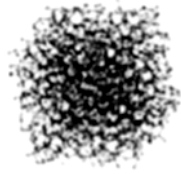


Syngas

Pyrolyse i Danmark (data fra Tobias Pape Thomsen, RUC)

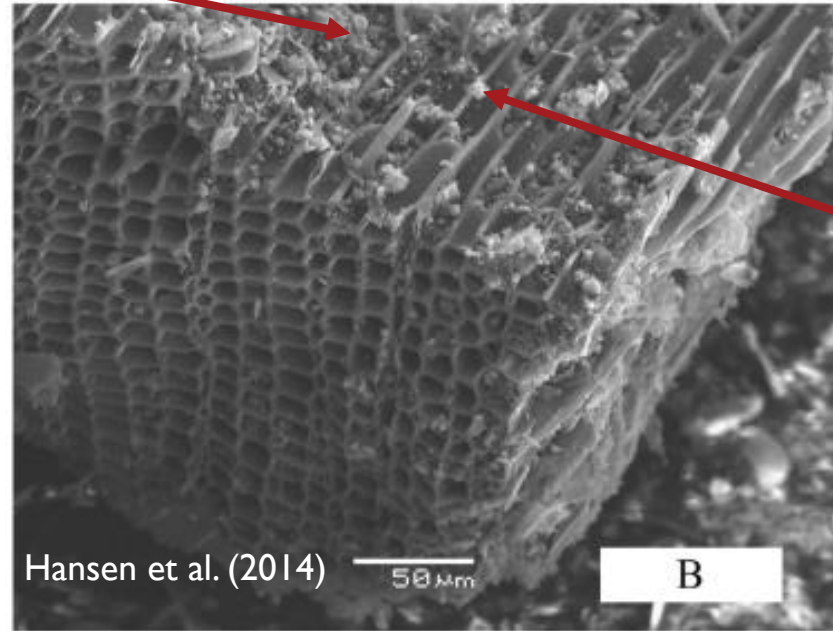
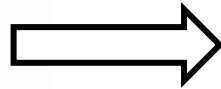
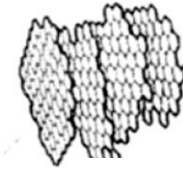
Navn	Teknologi	Max. temperatur	Anlæg i drift	Kommende anlæg	Substrat
Stiesdal	Pyrolyse	500-600	1 (2 MW)	1 (20 MW) 2024	Halm, biogasrestfibre
Aquagreen	Integreret damptørring og pyrolyse	650	2 (ca. 0.5 MW)	2 2024-25	Spildevandsslam
Frichs Pyrolysis	Flash pyrolyse	850	-	3 (2 MW) 2024	Tør hønsemøg og halm, biogasrestfibre
Organic Fuel technology	Integreret tørring og mikrobølgeassisteret pyrolyse	350	-	1 (ca. 2 MW) 2024	Spildevandsslam
Dall Energy	Integreret pyrolyse og koks-forgasning	650 + 730	-	1 (10+ MW) 2025	Spildevandsslam, biogasrestfibre

Ikke-krystallinsk kulstof



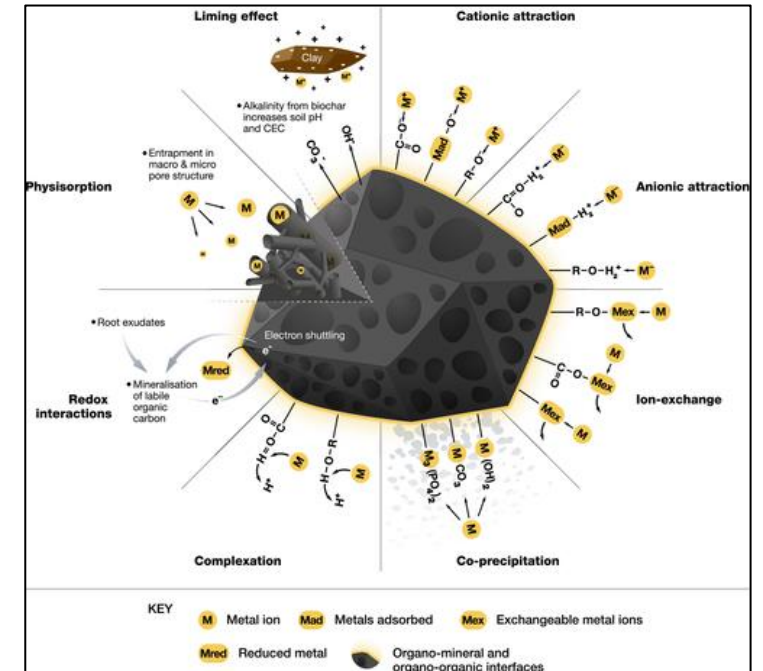
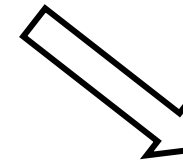
Biokullets struktur

Krystallinsk aromatisk kulstof



Porerum (stor specifik overflade), ladning

Mineralstrukturer (aske)



Biokullets forskelligartede egenskaber – biokul er ikke bare biokul!

Eksempler

Egenskab	Biokul fra halm	Biokul fra slam	Biokul fra biogasfibre	Biokul fra træ
pH	10,3	7,2	9,6	8,4
C %	76	18	63	73
Specifikt overflade (BET) (m ² g ⁻¹)	38	63	83	190
Aske %	18	78	32	23
P (g kg ⁻¹)	2	60	21	0,2

Hvorfor er det relevant at se på P gødningseffekten?

- P indholdet i biokul fra halm er ofte omkring 0,5% eller mindre, men kan være betydeligt højere i biokul fra P-rige materialer som biogasrestfibre eller spildevandsslam
- P-loft begrænser den mængde, der kan udbringes på én gang (or dermed også potentialet for kulstoflagring)
- P skal have en gødningsvirkning for at gøre anvendelsen af P-rige biokul-materialer interessant
- Gødningsvirkningen varierer meget og skal derfor undersøges

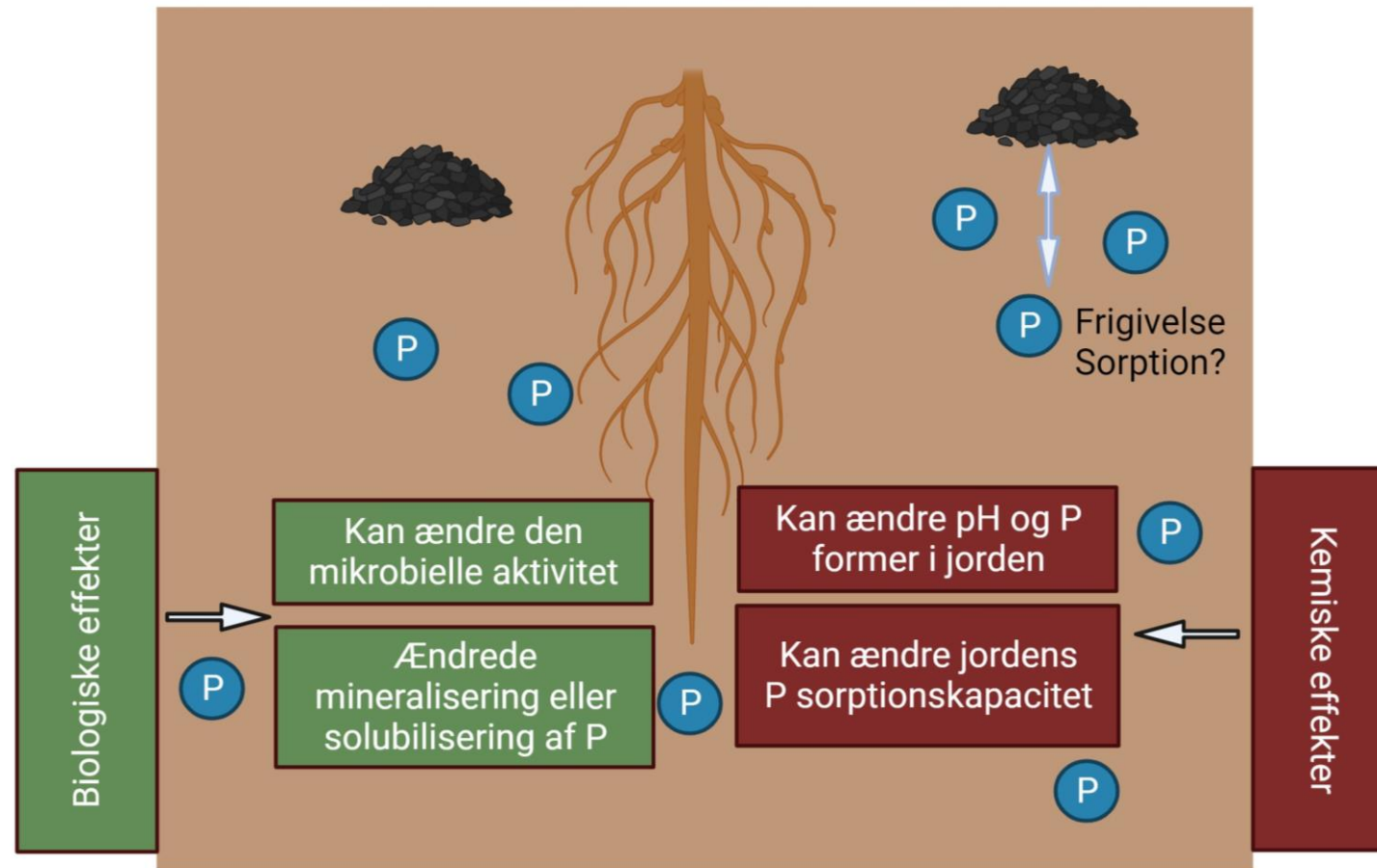


Spildevandsslam

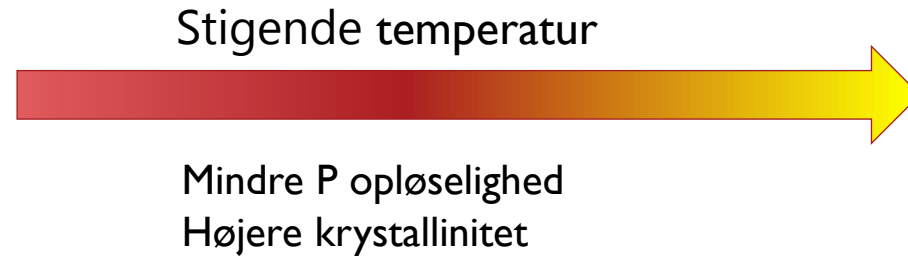


Biokul af spildevandsslam

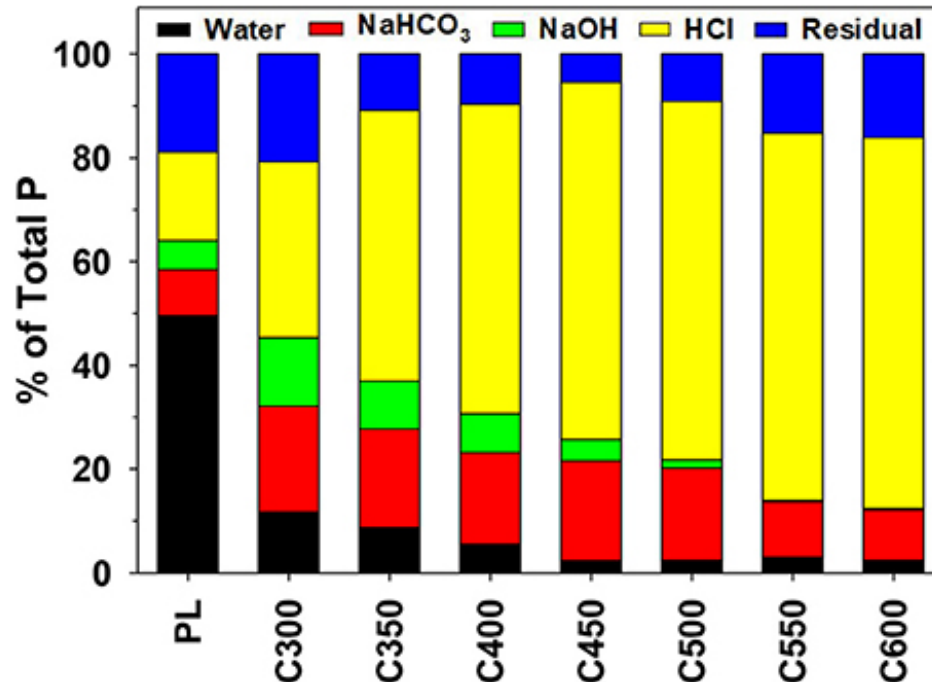
Biokulletts mulige effekter på fosfor i jorden



Hvad sker der med P under pyrolysen?

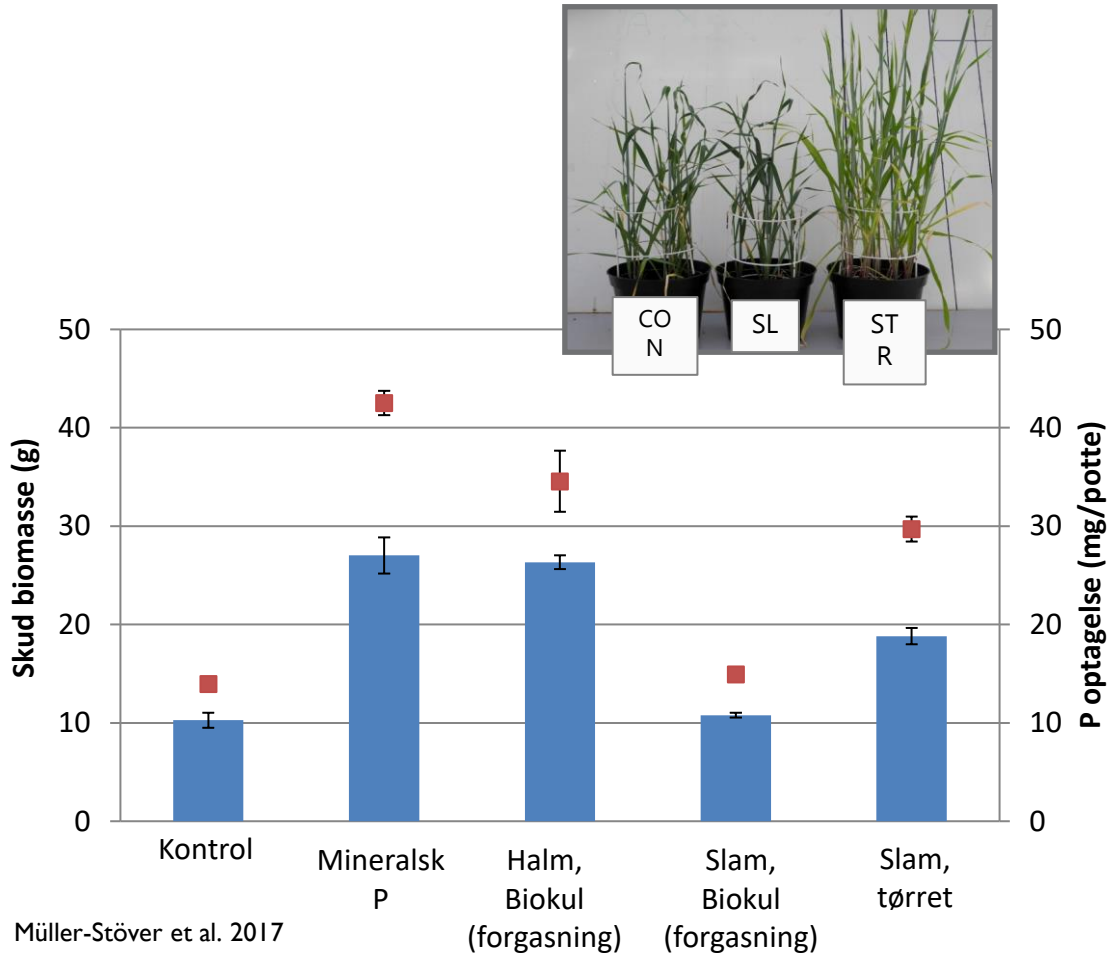


Lavere P tilgængelighed

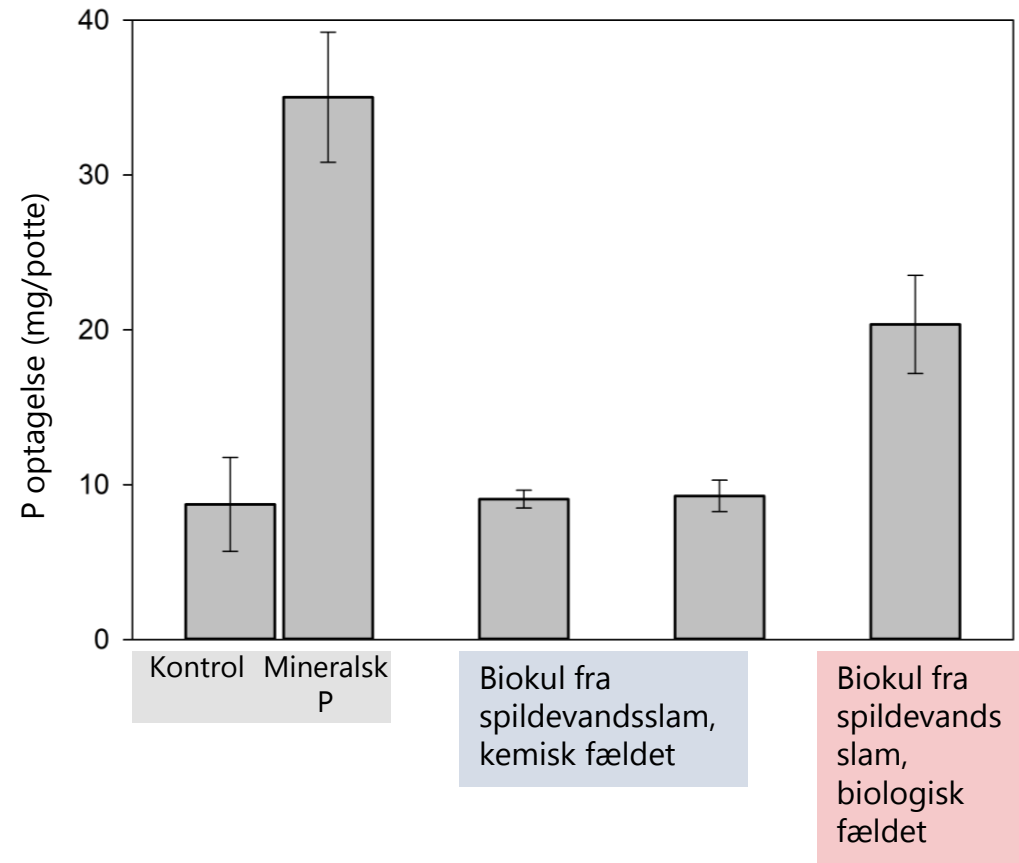


Li et al. 2018

P gødningsværdi afhænger i stor grad af udgangsmaterialet

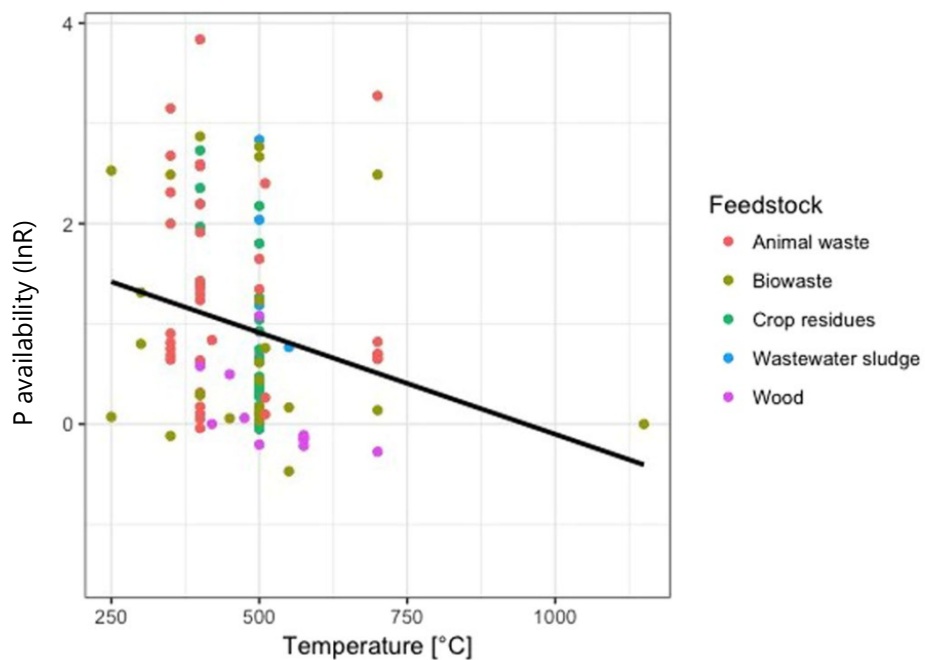


Müller-Stöver et al. 2017

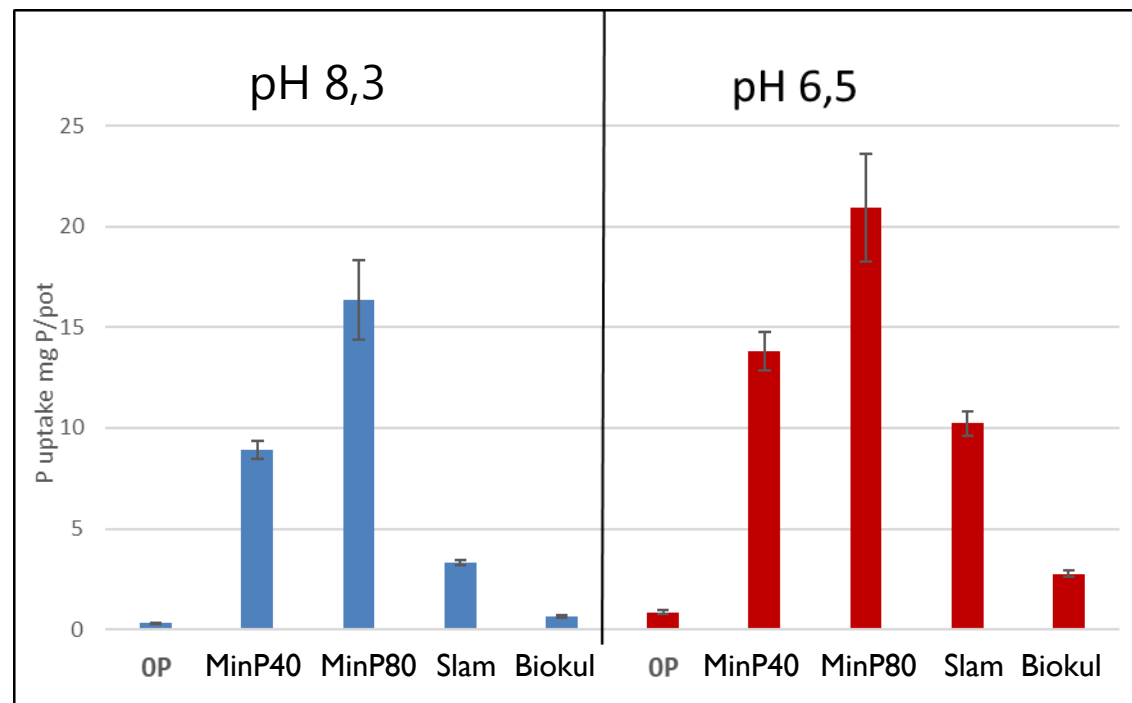


Kopp et al. 2023

Pyrolysetemperatur og jordens pH



modificeret efter Glaser & Lehr 2019



Müller-Stöver et al., upubliceret

Partikelstørrelse

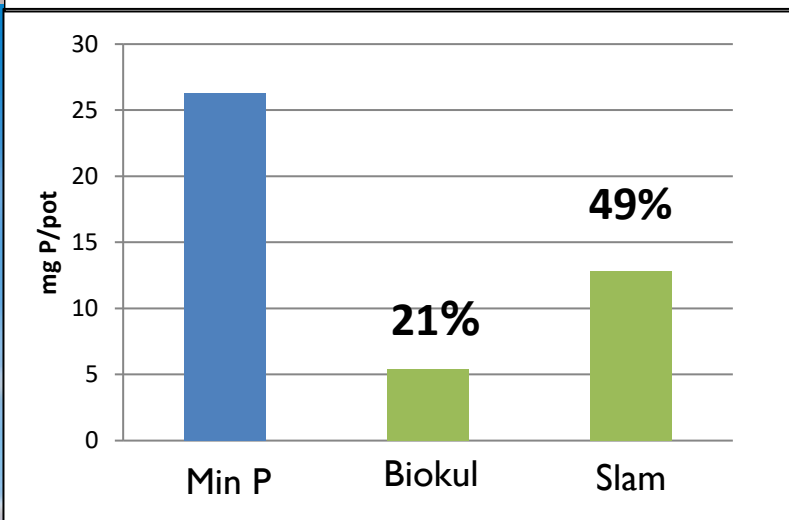
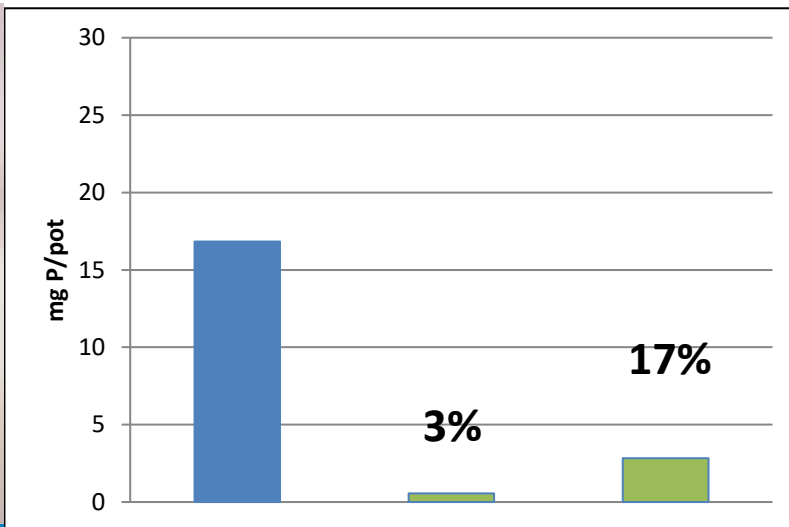


**Slam, biokul
small**

**Slam,
biokul
medium**

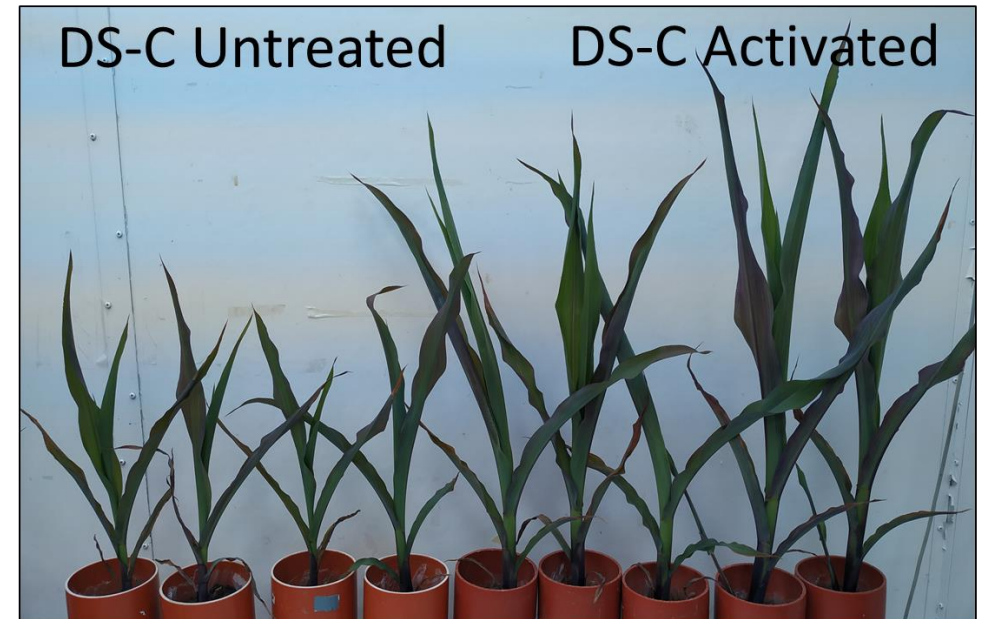
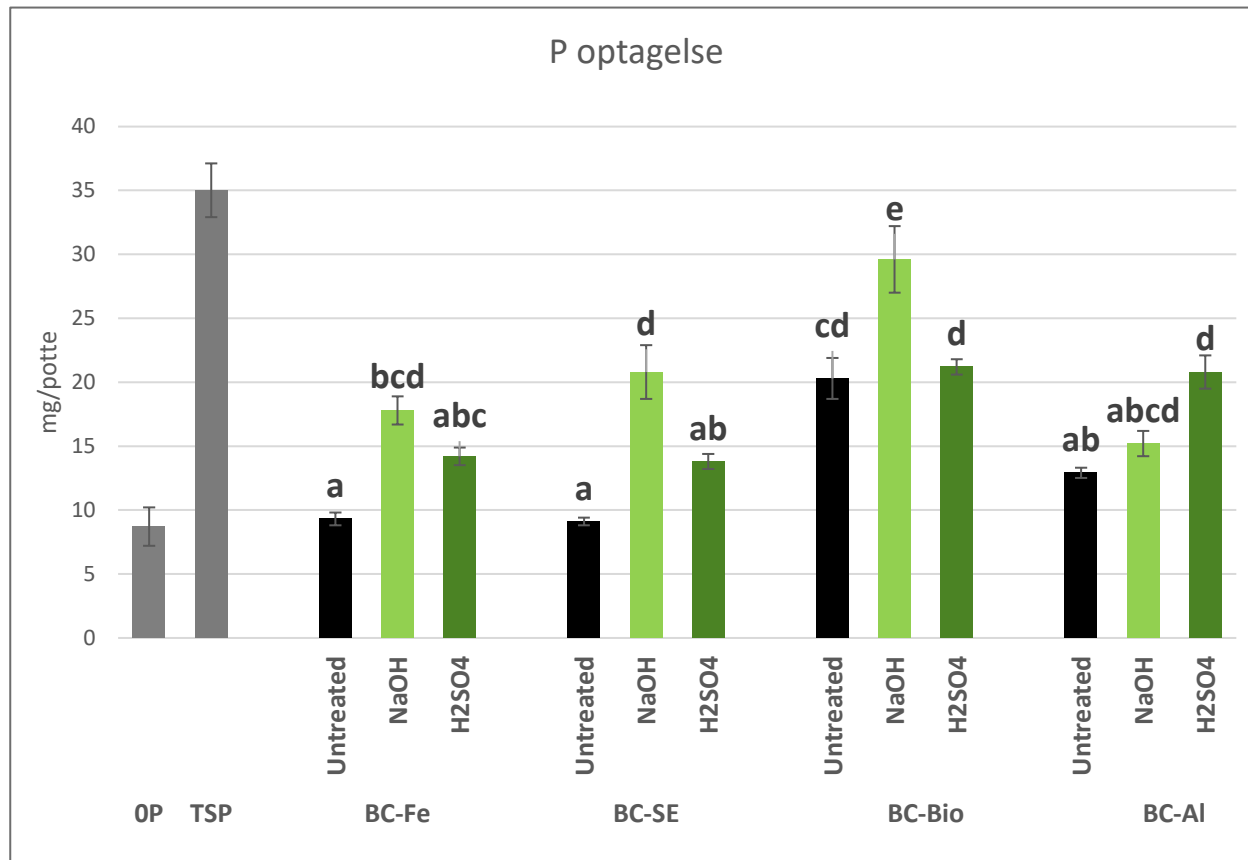
**Slam, biokul
large**

Afgrøde



Muligheder for forbedring?

Plantevækst efter forsuring/alkalinisering af biokul:



Majs gødet med ubehandlet (venstre) eller forsuret (højre) biokul fra biogasrestfibre

Konklusioner

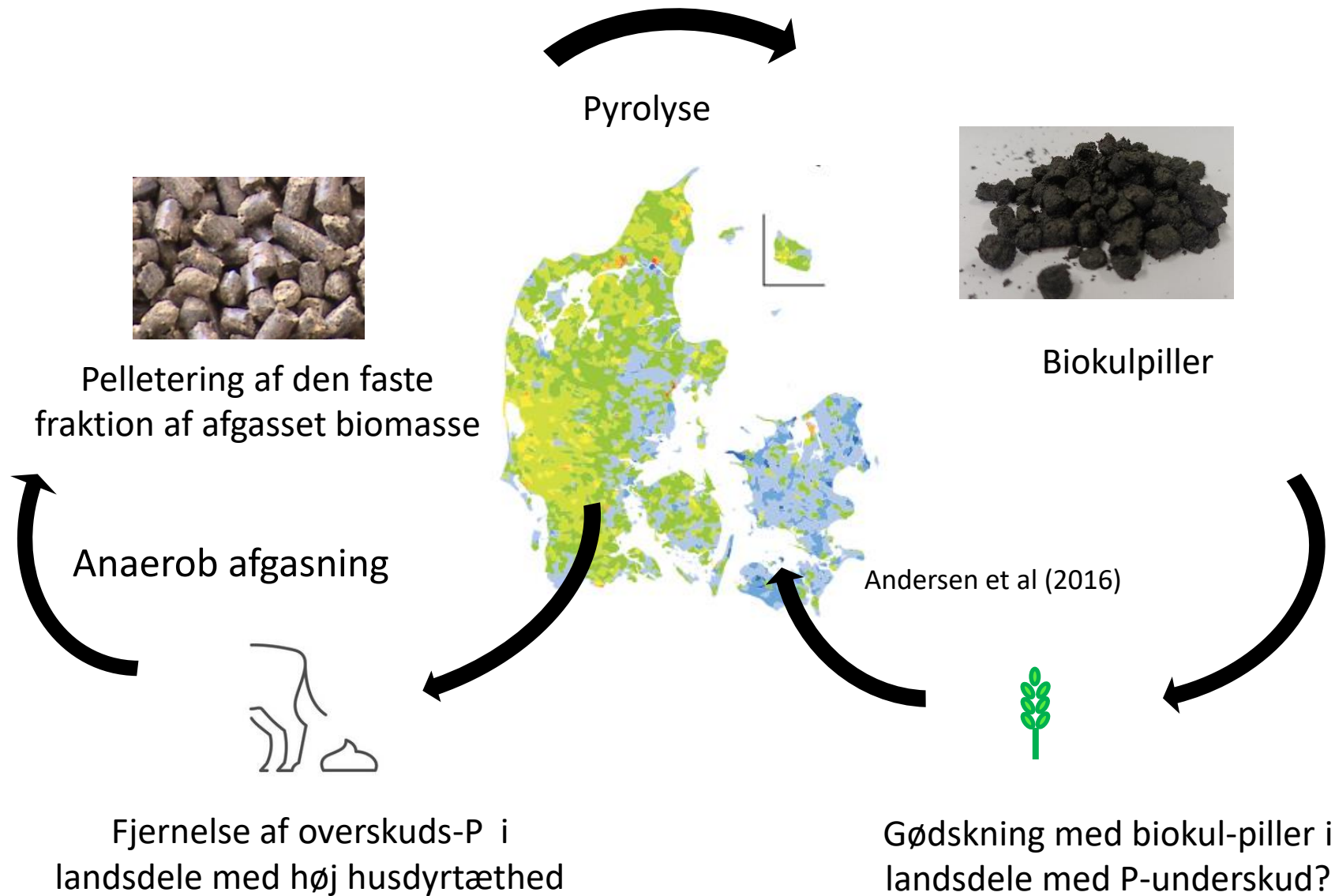
- Pyrolyse reducerer P gødningsværdien af de fleste biomasser, men i meget forskelligt omfang
- P gødningseffekten bliver også påvirket af mange eksterne faktorer
- Der findes muligheder til forbedring af P opløseligheden i biokul

BIOKULPILLER FRA BIOGASRESTFIBRE -EN LOVENDE FOSFORGØDNING?

Ingeborg Frøsig Pedersen, Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet

Klara Cecilia Gunnarsen, Institut for Plante- og Miljøvidenskab, Københavns Universitet

Er biokul baseret på biogasrestfibre en lovende fosforgødning i Østdanmark?



Formål:

Undersøge P-gødningsværdien af biokul, herunder:

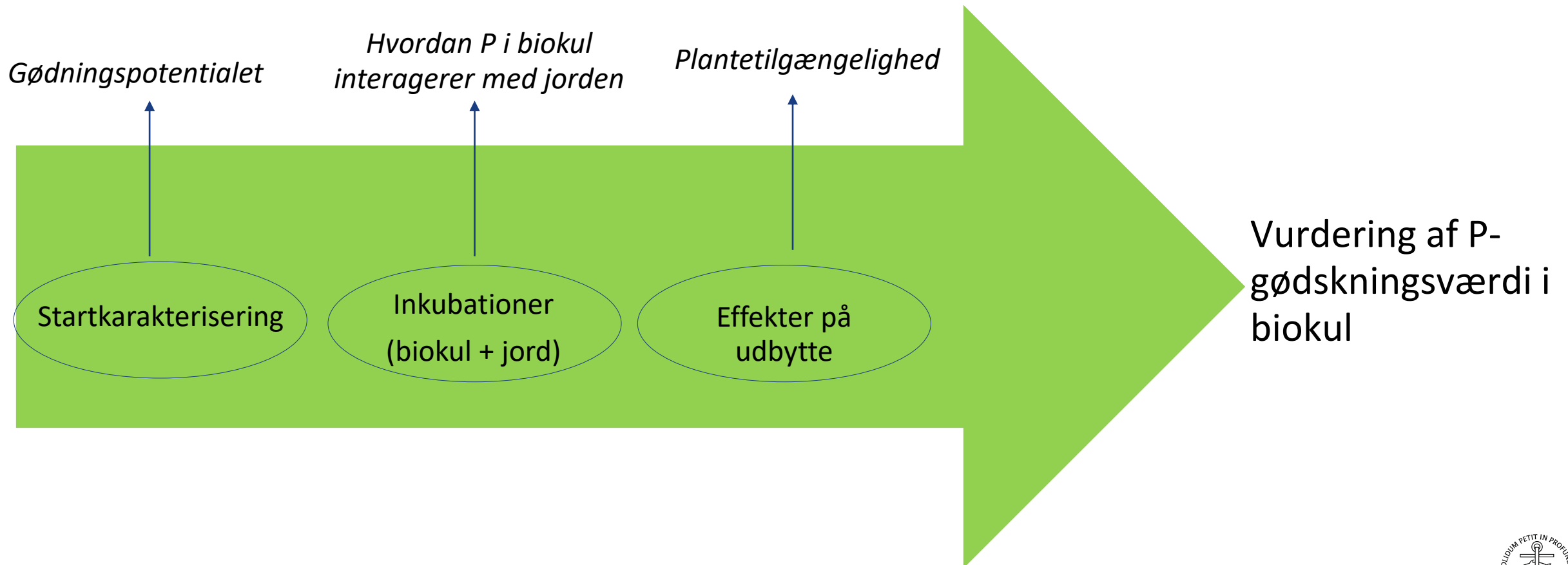
- variationen mellem biokul baseret på biogasrestfibre
- effekten af partikelstørrelse

BIOKULPILLER

- Piller bruges som udgangsmateriale i mange pyrolyseanlæg
- Nemmere at håndtere ved udbringning (mindre støv)
- Eksisterende litteratur har ofte kun undersøgt fosfortilgængelighed på pulveriseret biokul
- Men hvilken betydning har biokuls partikelstørrelse for fosfortilgængeligheden?



HVORDAN VURDERES FOSFORGØDNINGSVÆRDIEN I BIOKUL?



BIOKUL UNDERSØGT I FORSØGENE

Biokul ID	Pyrolyse	Biogas anlæg	Udgangsmateriale	Separering af afgasset biomasse
#1 (Vesth.)	Pyrolysetemperatur: 600 °C Retentionstid: 30 min.	Vesthimmerland Biogas	Afgasset biomasse bestående af gylle, dybstrøelse, frøgræshalm, restprodukter fra industri og energiafgrøder. Pilleform.	Skruepresse
# 2 (BB)	Pyrolysetemperatur: 560-575 °C. Retentionstid: 3-5 timer	BB Bioenergi	Afgasset biomasse bestående af gylle, dybstrøelse, halm, restprodukter fra industri og energiafgrøder. Pilleform.	Skruepresse
#3 (Måbjerg)	Pyrolysetemperatur: 560-575 °C. Retentionstid: 3-5 timer	Måbjerg Energi Center	Afgasset biomasse bestående af gylle og restprodukter fra fødevarerproduktion. Pilleform.	Dekantercentrifuge

Delprøve af #1(Vesth.) blev yderligere forsuret med 1,5 M svovlsyre



STARTKARAKTERISERING AF BIOKUL, UDFØRT DIREKTE PÅ PULVERISERET MATERIALE

Biokul ID	pH	Total C	Total P	P-vand	P-bikarb	Total N	Total Fe	Total Al	Total Ca	Ca-P molar ratio
		%	%	% af total P	% af total P	g kg ⁻¹ DM				
#1 (Vesth.)	9,9	60	2,3	10,2	20,1	14	7,8	2,9	35	1,2
#1(Vesth.)_forsuret	6,0	57	2,1	40,1	42,0	13	7,3	2,7	33	1,2
# 2 (BB)	9,5	60	1,2	6,3	8,4	14	4,9	1,9	27	1,8
#3 (Måbjerg)	9,5	44	6,3	4,0	11,1	23	13,0	235	76	0,9

Hovedpointer:

- Total P-indhold varierede fra 1,2 til 6,3%
- Bikarbonat-ekstraherbart P varierede fra 8-42% ud af total P

INKUBATIONSFORSØG, AU

Østdanske jorde med lav P-status



Jord med tidligere observeret respons til P-gødskning

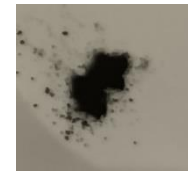


Lokalitet	Haslev	Køge	Østervrå, Nordjylland
Jordtype	JB6	JB6	JB4
pH (CaCl ₂)	7.3	5.6	5.5
P-tal, mg P 100 g ⁻¹	1.0	0.5	2.2
Inkubationsforsøg, AU	Ja	Ja	Ja
Potteforsøg, KU	-	Ja	Ja

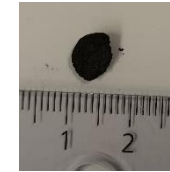
Metode:

- Biokul iblandet jord (80 mg P/kg jord).
- Hver biokultype tilført som pulver og pille
- Inkuberet i hhv. 7 og 70 dage ved 20 grader.
- Herefter ekstraheret med bikarbonat

Pulver



Pille

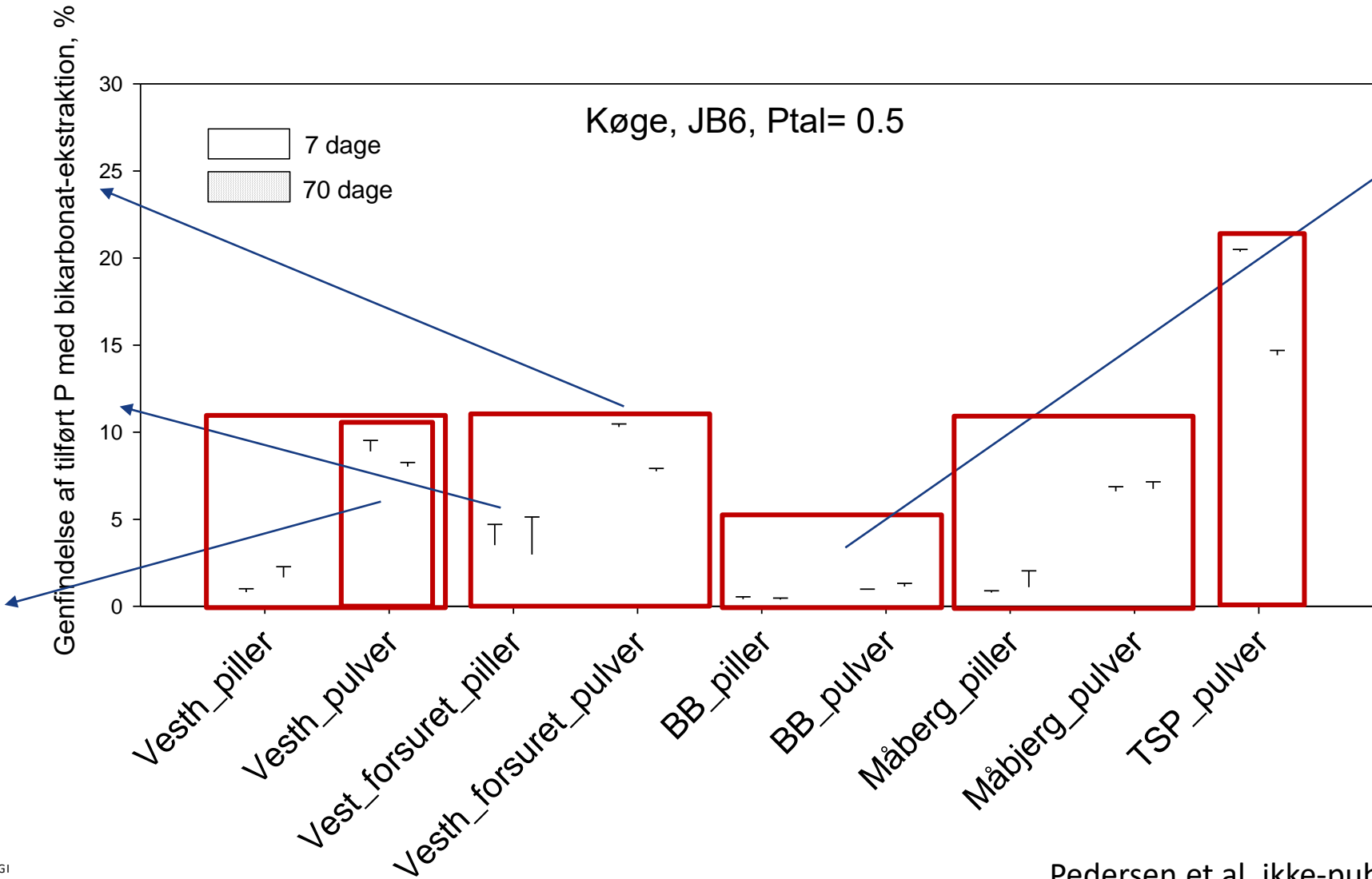


INKUBATIONSFORSØG: RESULTATER

Biokul tilført som
forsuret pulver
~50% genfindelse
ift. TSP

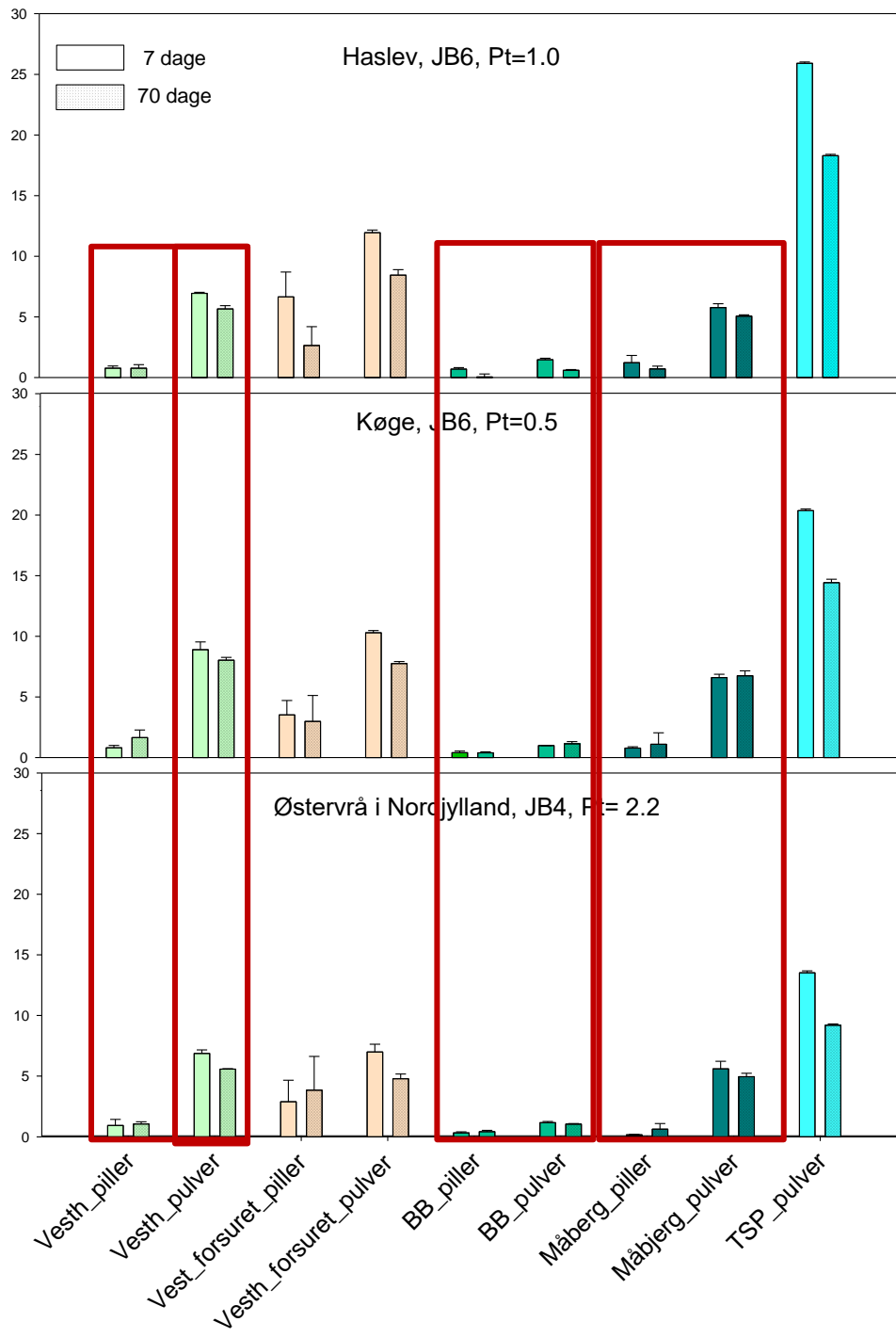
Når samme produkt
tilført som piller
~17% genfindelse ift.
TSP

Genfindelse af P faldt
eller forblev konstant
over tid



Lav genfindelse uanset
partikelstørrelse
(ned til 2% genfindelse
ift. TSP)

Genfindelse af tilført P med bikarbonat-ekstraktion, %



Resultater for alle tre jorder

Samme mønster:

- Biokul tilført som pulver havde generelt større gødningsværdi end piller
- En biokul havde lav genfindelse uanset partikelstørrelse
- P-genfindelse var konstant eller faldt en anelse med tiden

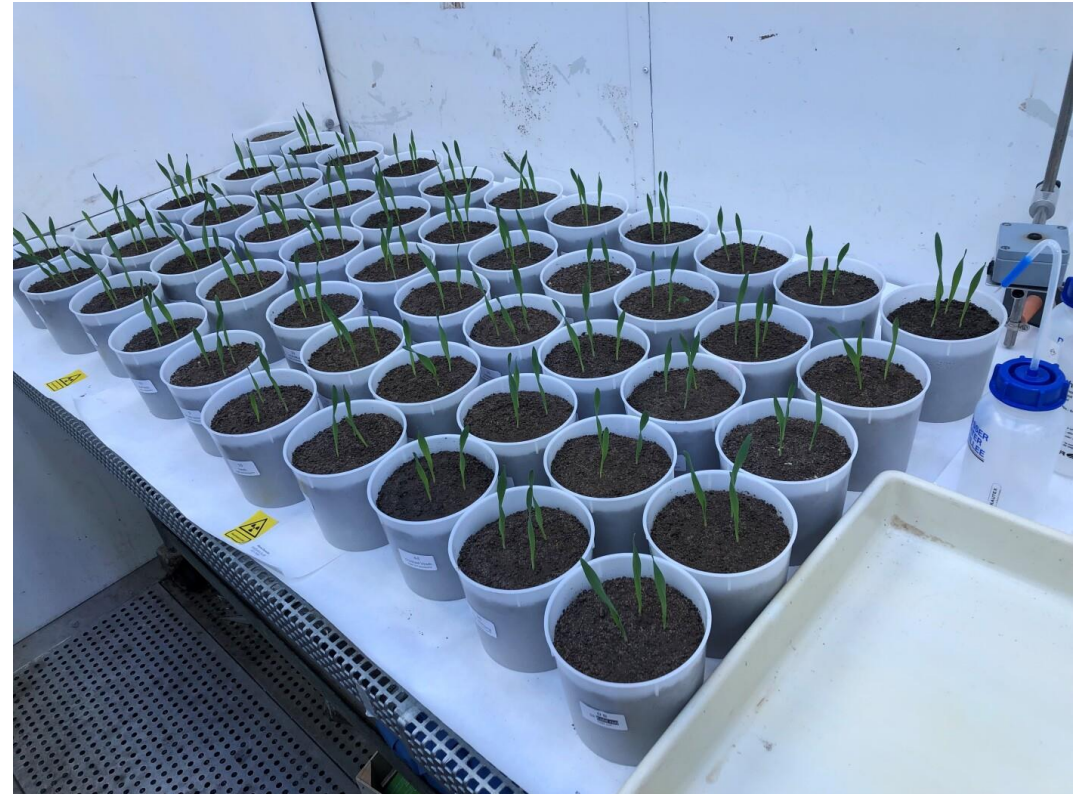
POTTEFORSØG, KU

Behandlinger	P dosis	Tilført mængde biokul
0P	0	
+P (TSP)	75 mg P /kg	
Vesth._grov	120 mg P /kg	13,5 t/ha
Vesth._fin	120 mg P/kg	
BB_grov	60 mg P /kg	11,8 t/ha
BB_fin	60 mg P /kg	
Måbjerg_grov	60 mg P /kg	2,5 t/ha
Måbjerg_fin	60 mg P /kg	

To jorder:

- Køge (JB6, Ptal= 0.5)
- Østervrå, Nordjylland (JB4, Ptal=2.2)

Grov biokul = Partikelstørrelse mellem 0.3 og 25 mm
Fin biokul= Partikelstørrelse <0.3 mm

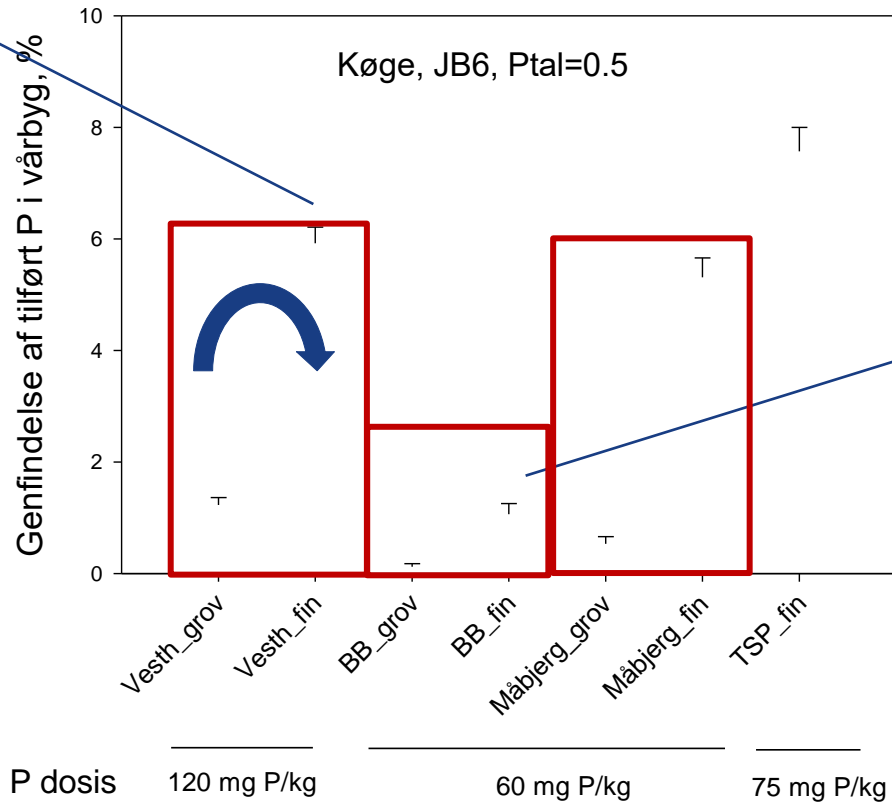


Afgrøde: Vårbyg
35 dages vækst i klimakammer

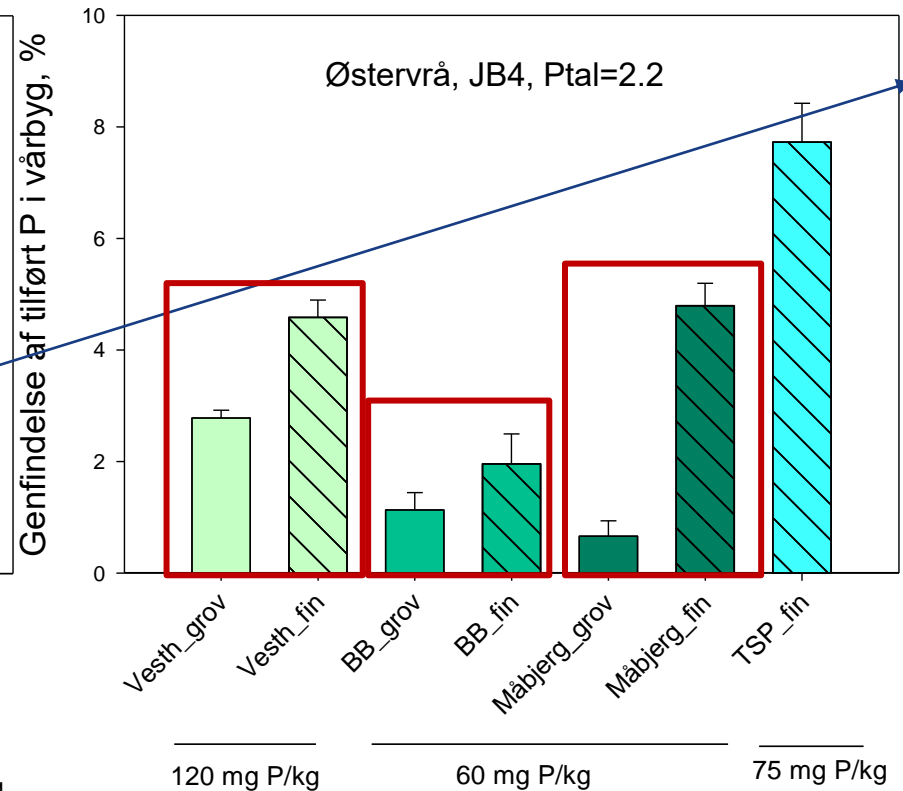
POTTEFORSØG KU: RESULTATER

Genfindelse af fosfor i vårbygskud efter 35 dages vækst

Øget P-optag og vækst efter tilførsel af pulveriseret biokul
Op til 78% genfindelse ift. TSP

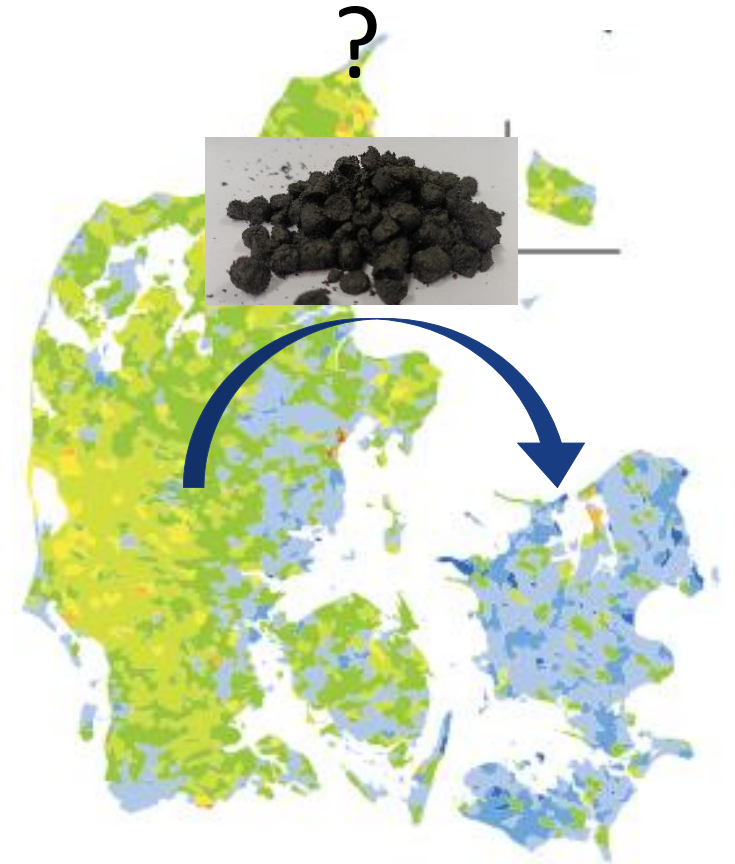


Lavere P-optag for denne biokul. Ned til 1.5% genfindelse ift. TSP



KONKLUSIONER

1. Startkarakterisering kan ikke stå alene –skal suppleres med inkubations- og planteforsøg
2. P-tilgængelighed varierer mellem biokul produceret fra biogasrestfibre
3. Genfindelse og planteoptag af P var generelt størst ved tilførsel af finkornet biokul
4. Behov for yderligere studier af
 - eventuelle utilsigtede effekter af biokulpulver
 - langtidsstabiliteten af biokulpiller



TAK FOR OPMÆRKSOMHEDEN



AARHUS
UNIVERSITET

Markforsøg med fosforeffekt af biokul

Camilla Lemming

Plantekongres 11. januar 2024



Finansieret af
Den Europæiske Union
NextGenerationEU

SEGES
INNOVATION

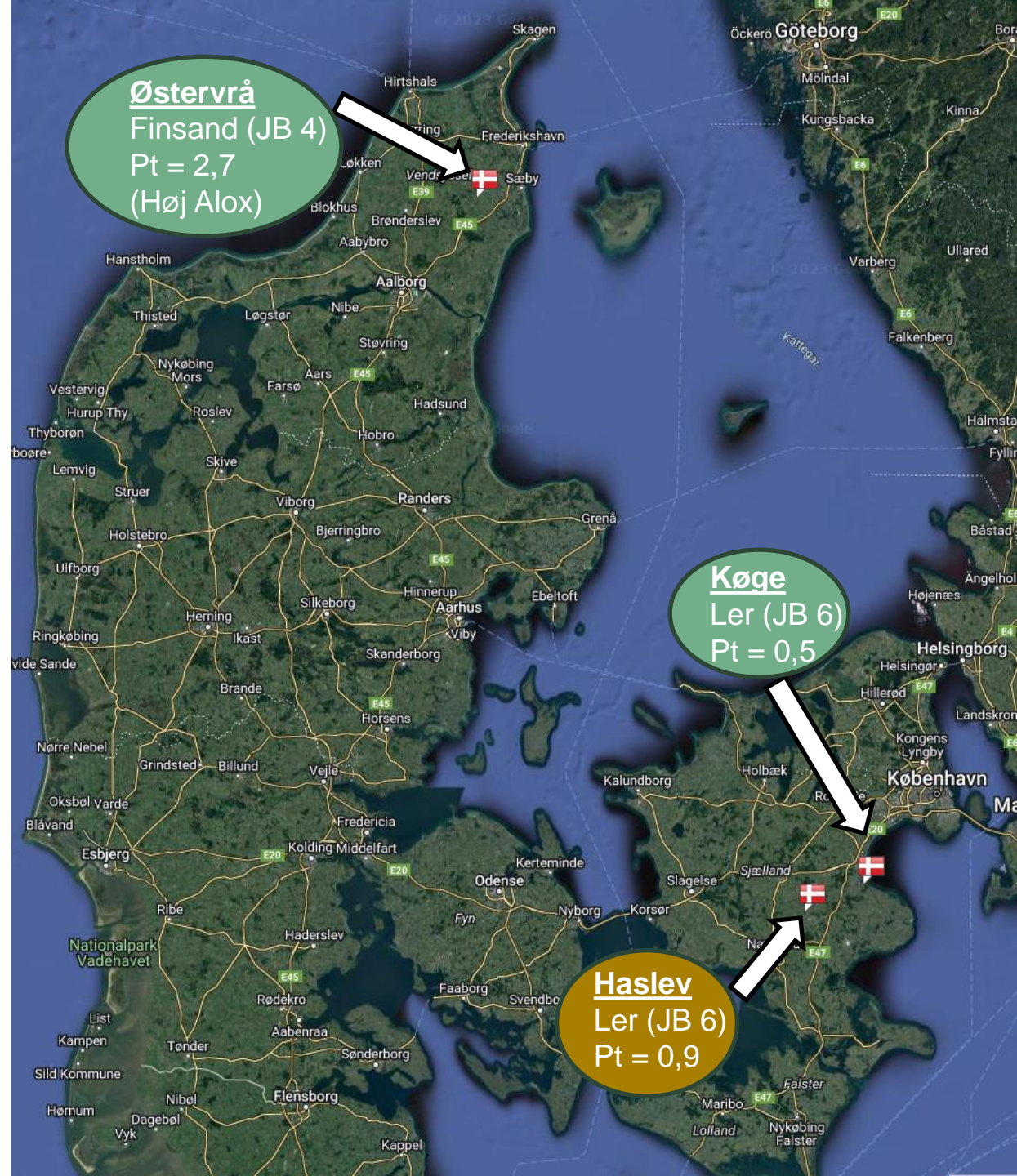
Landsforsøg med fosforeffekt af biokul 2023

- Arealer er udvalgt ud fra forventet udbytterespons for fosfor
- Vårbyg

Behandlinger i forsøgene ved Østervrå og Køge

Led	Fosforgødning	Tildelingsmåde
1.	Ingen P	
2.	15 kg P pr. ha i TSP	Bredspredt og nedharvet
3.	30 kg P pr. ha i TSP	Bredspredt og nedharvet
4.	60 kg P pr. ha i TSP	Bredspredt og nedharvet
5.	30 kg P pr. ha i TSP	Placeret
6.	30 kg P pr. ha i biokul	Bredspredt og nedharvet
7.	90 kg P pr. ha i biokul	Bredspredt og nedharvet
8.	90 kg P pr. ha i biokul + 60 kg P pr. ha i TSP	Bredspredt og nedharvet

TSP = Tripelsuperfosfat



Biokul i forsøgene

- Produceret af Stiesdal
- Baseret på biogasrestfibre fra Vesthimmerland Biogas
- Udbragt manuelt og nedharvet

Indhold i biokul

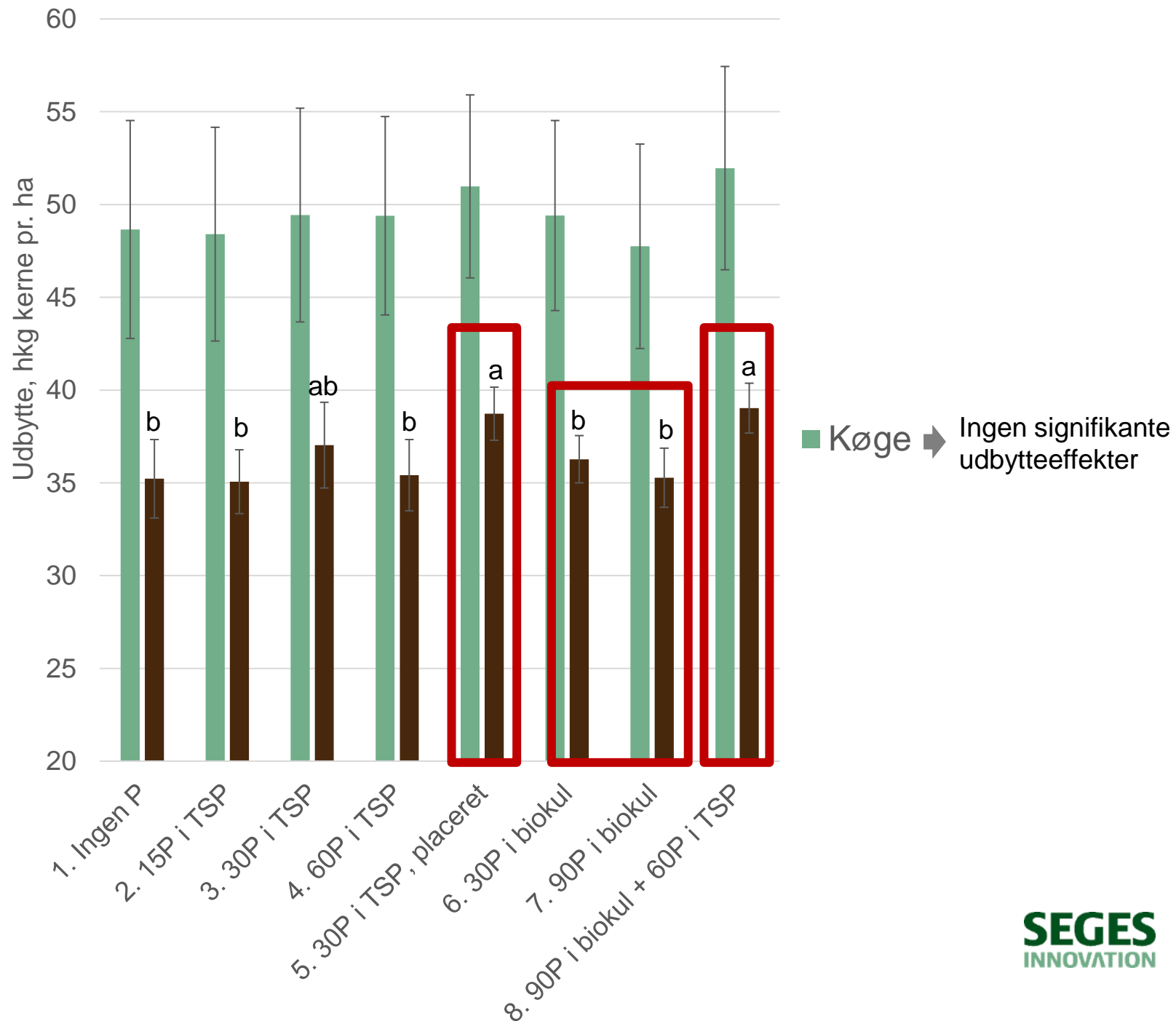
Tørstof	60 %
Fosfor	1,3 % af foreliggende vare
	2,2 % af tørstof
Kvælstof	1,1 % af tørstof
Kalium	2,1 % af tørstof

Tilført i mængder svarende til hhv. 2,5 og 7,5 tons pr. ha.



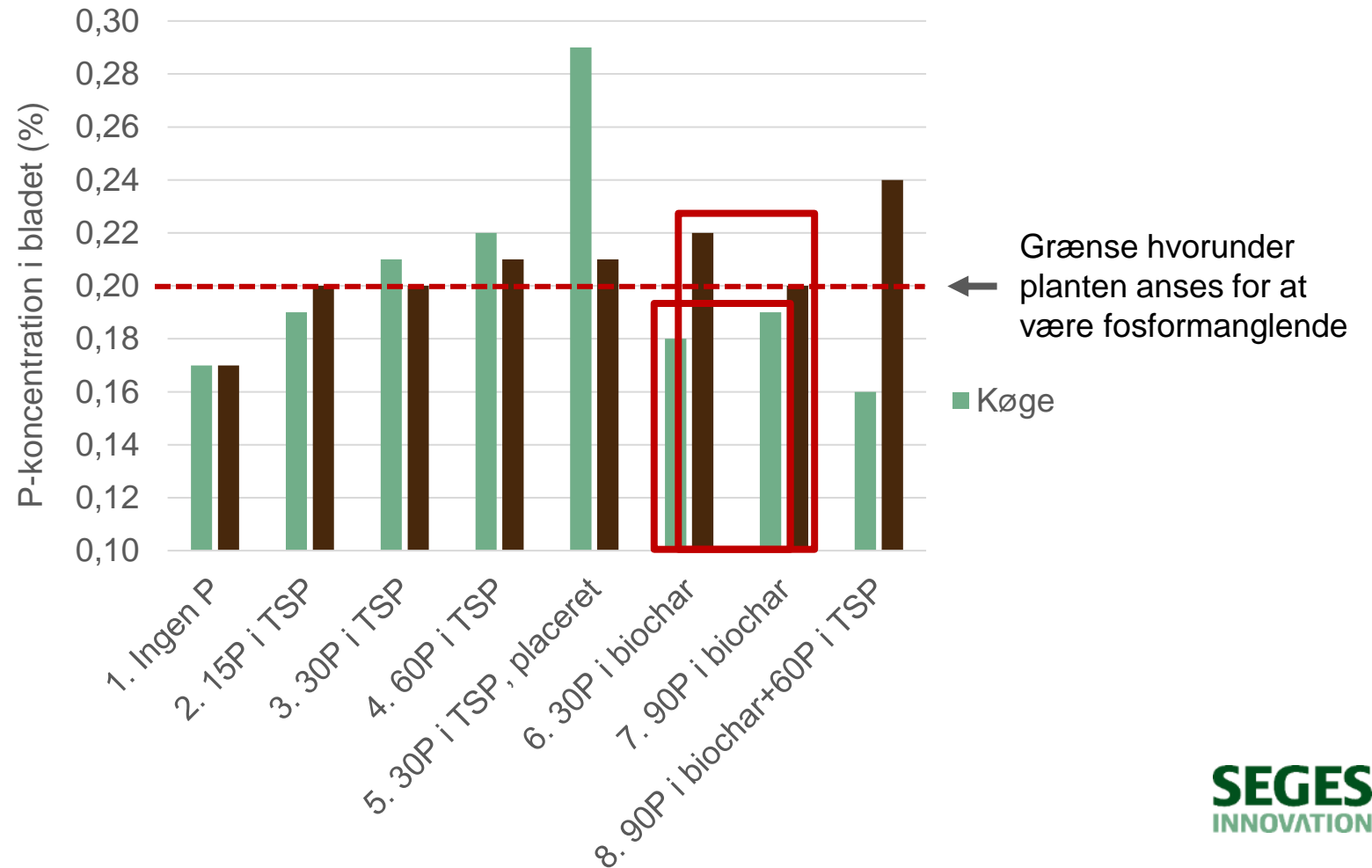
Udbytteeffekter

- Forsøgene har været tørkepåvirkede
- ➔ Meget lave udbytte-niveauer



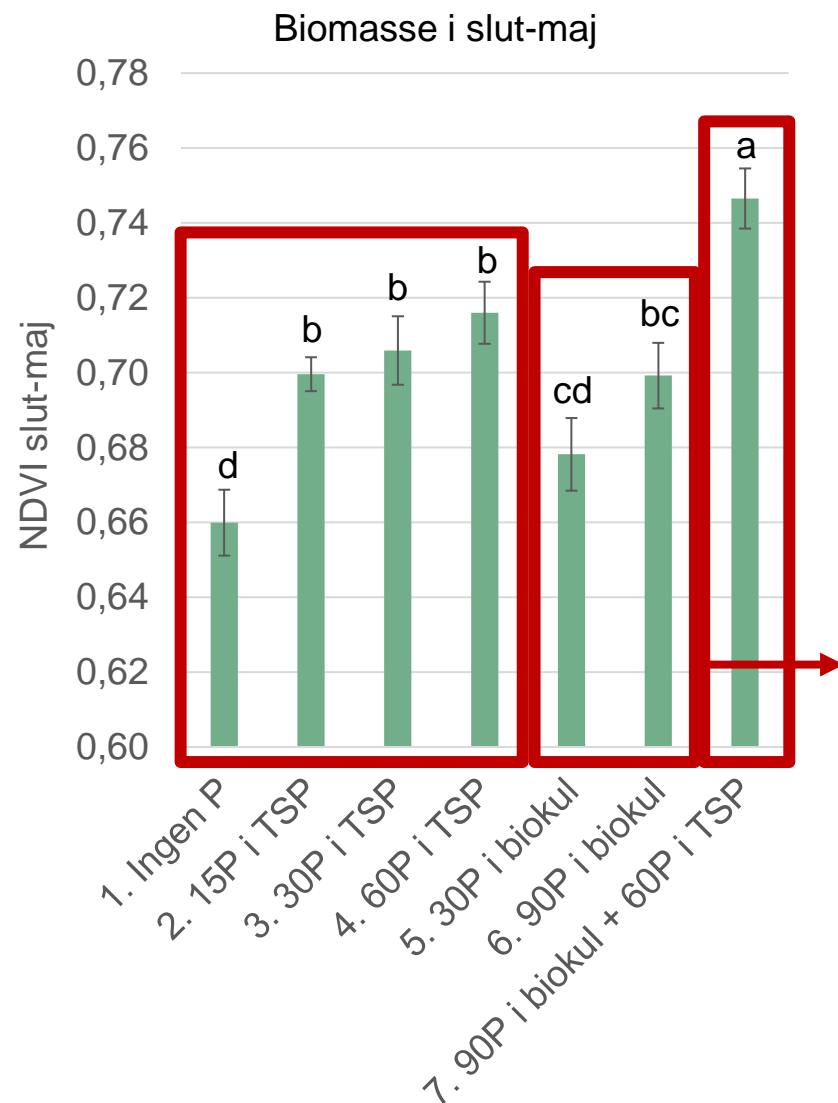
Udvalgte resultater fra før tørkepåvirkning

- Fosforkoncentration i bladene i maj



Udvalgte resultater fra før tørkepåvirkning

- Forsøget ved Haslev
- Ingen udbytterespons
- ➔ Men tydelige forskelle i biomasse (NDVI) målt fra drone i maj



Svarer til en effekt af fosfor i biokul på **30-40 %** af fosfor i TSP

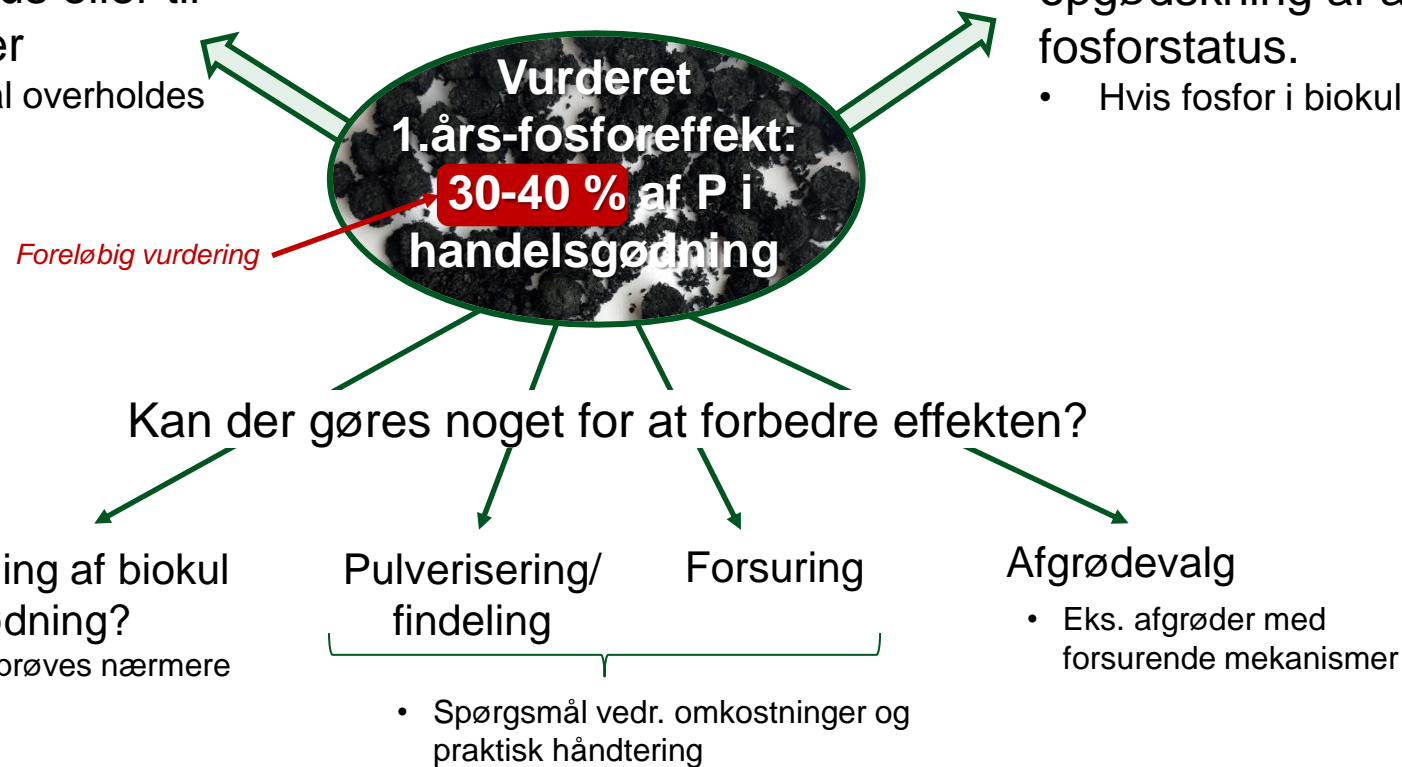
Perspektivering – biokuls potentiale som fosforgødning

Mindre velegnet til førsteårsgødskning på arealer med lav fosforstatus eller til følsomme afgrøder

- Hvis fosforloftet skal overholdes

Måske velegnet til vedligeholdelsesgødskning eller opgødskning af arealer med lav fosforstatus.

- Hvis fosfor i biokul frigives over tid





Tak for opmærksomheden